

## Kajian Perbandingan di antara Ujian H-Ometer dan Ujian Brazilian

Husaini Omar

*Mountainous Terrain Development Research Centre,  
Fakulti Kejuruteraan, Universiti Putra Malaysia,  
43400 UPM Serdang, Selangor*

Diterima: 25 September 2000

### ABSTRAK

Kajian perbandingan telah dijalankan ke atas ujian H-Ometer dengan ujian yang sedia ada iaitu ujian Brazilian. Kajian perbandingan ini telah dijalankan dengan menggunakan spesimen buatan. Ini adalah kerana spesimen buatan diketahui kandungannya dan ia juga adalah spesimen yang isotropik dan homogen. Oleh itu spesimen adalah seragam. Keputusan kedua-dua ujian dibincangkan. Hasil keputusan menunjukkan kekuatan tegangan dari ujian H-Ometer lebih besar berbanding kekuatan tegangan dari ujian Brazilian. Hasil dari perbandingan antara kedua-dua keputusan didapati kekuatan tegangan dari ujian H-Ometer,  $\sigma_{ho}$ , adalah sama dengan 1.043 kali kekuatan tegangan dari ujian Brazilian,  $\sigma_b$ . Hasil perbandingan ini menunjukkan bahawa kekuatan tegangan dari ujian H-Ometer adalah berkait rapat dengan kekuatan tegangan dari ujian Brazilian. Ini menunjukkan satu keputusan yang amat baik.

### ABSTRACT

The comparison study is carried out between H-Ometer test and Brazilian test. In this study, the artificial weak rock or make-up sample is used. This is because the contents of the materials are known, the sample can be controlled and it is assumed to be isotropic and homogenous. Both of the test results are reported and discussed. The tensile strength from the H-Ometer,  $\sigma_{ho}$ , test shows slightly higher than the Brazilian test,  $\sigma_b$ . It is equal to 1.043 times of the tensile strength from the Brazilian test. Based on the correlation, the H-Ometer test shows a good agreement with the Brazilian test.

**Kata kunci:** Ujian H-Ometer, ujian Brazilian, spesimen buatan

### PENGENALAN

H-Ometer adalah alat baru yang direka cipta untuk mengukur kekuatan tegangan ke atas batuan lemah. Alat ini mempunyai saiz yang kecil di mana garis pusatnya adalah 12mm dan panjangnya adalah 74mm. Disebabkan oleh kepayahan yang biasanya dihadapi untuk menjalankan ujian terus tegangan sepaksi ke atas bahan-bahan rapuh, seperti batuan lemah telah menyebabkan banyak kaedah ujian secara tak langsung telah dihasilkan untuk mendapatkan kekuatan tegangan. Ujian 'Brazilian' merupakan yang paling popular. Ianya pertama kali telah diperkenalkan untuk menguji konkrit oleh Carneiro di Brazil dan Akazawa di Jepun (Davies dan Stagg 1970).

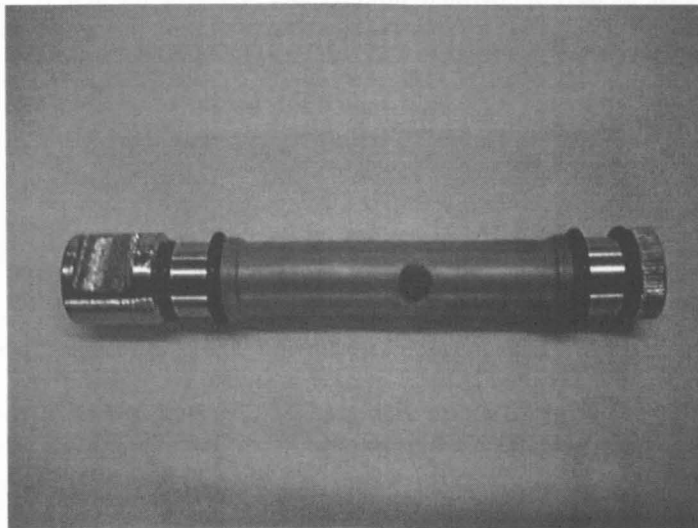
Ujian Brazilian dijalankan dengan memberi tekanan ke atas sampel ujian yang berbentuk cakera di antara dua plat pada mesin ujian yang sesuai sehingga sampel ujian pecah mengikut satah menegak. Tekanan pada kegagalan direkodkan dan dibahagikan dengan luas keratan permukaan akan memberikan kekuatan tegangan spesimen ujian. Saiz spesimen bagi ujian Brazilian adalah ketebalannya iaitu separuh daripada garis pusat.

Pengukuran kekuatan tegangan ke atas batuan lemah biasanya didapati susah untuk dilakukan disebabkan oleh keadaan asalnya adalah rapuh yang menyebabkan penyediaan sampel didapati susah untuk dilakukan. Alat H-Ometer dicipta sebagai satu alat ujian kekuatan tegangan tak langsung untuk batuan lemah sama ada di makmal ataupun di lapangan.

Tujuan kajian ini adalah untuk membandingkan keputusan ujian H-Ometer dengan ujian Brazilian. Rumusan perbandingan daripada keputusan kedua-dua ujian akan dibentuk.

### H-OMETER

H-Ometer berbentuk selinder dengan lubang di bahagian dalam dan dipasang membran getah di sebelah luar yang boleh mengembang pada badannya (*Plat 1*). Pada dasarnya ia mempunyai enam komponen yang utama iaitu Badan Utama, Kepala Sambungan, Klip Khas, Ekor, Tiub dan Membran. Ianya diperbuat daripada bahan keluli yang tahan karat. Kepala Sambungan adalah untuk menyambungkan Badan Utama dengan tiub disambungkan kepada unit kawalan. Unit kawalan ini adalah alat yang memberikan tekanan dengan air sebagai media utama yang merekodkan tekanan yang diberi dan isi padu air yang memasuki alat H-Ometer.



*Plat 1: H-Ometer*

Pam Digital Hidraulik digunakan sebagai unit kontrol untuk memberi tekanan dengan air suling (distilled water) sebagai media yang akan melalui tiub yang dipasang bagi menyambungkan pam dan H-Ometer. Tekanan yang diberi akan menolak air ke dalam H-Ometer dan ini akan membolehkan membran pada H-Ometer mengembang. Tekanan yang diberi akan direkod dan isi padu air yang memasuki H-Ometer akan disukat. Sebelum ujian dijalankan, proses penentukuran membran akan dijalankan terlebih dahulu dengan mengenakan tekanan ke atas H-Ometer di udara, yang merekodkan tekanan yang diberi dan isi padu air yang masuk. Penentukuran sistem juga dilakukan bagi memastikan tiada kebocoran berlaku. Setelah ujian dijalankan, keputusan yang didapati perlu diperbetulkan. Keputusan yang diperbetul adalah penting untuk mendapat nilai sebenar kekuatan bahan yang diuji.

### PENYEDIAAN SAMPEL

Batuan lemah biasanya sukar untuk disediakan bagi tujuan pengujian di dalam makmal disebabkan oleh keadaan semula jadinya dan biasanya dikategorikan sebagai bahan yang bermasalah. Mengikut Meigh dan Wolski (1979) ada tiga kategori utama batuan lemah seperti ditunjukkan pada Jadual 1. Oleh itu bagi tujuan kajian ini, spesimen buatan telah digunakan. Untuk menghasilkan batuan buatan, kaedah campuran Bandis (1980) telah digunakan sebagai panduan. Pada tahun 1980, Bandis telah menghasilkan satu model bahan dengan ketetapan geometrik dan faktor skala tegasan yang mensimulasikan kandungan batuan yang sebenar. Penyediaan spesimen batuan buatan adalah berdasarkan bahan campuran Bandis dan dikeringkan pada suhu bilik. Untuk mendapatkan kekuatan yang sesuai bagi ujian H-Ometer, spesimen-spesimen ini telah diuji pada keadaan pengeringan yang berbeza.

JADUAL 1  
Kategori batuan lemah (Meigh dan Wolski 1979)

Kategori	Ciri-Ciri
A. Baik	Kualiti spesimen baik, Kualiti lubang tebukan baik
B. Sederhana	Kualiti spesimen tidak baik, Kualiti lubang tebukan baik
C. Tidak baik	Kualiti spesimen tidak baik, Kualiti lubang tebukan tidak baik

Model batuan buatan terdiri daripada bahan-bahan berikut; pasir silika, barite, alumina kalsium, *plaster of Paris* dan air mengikut pecahan seperti yang ditunjukkan pada Jadual 2. Barite digunakan sebagai cecair pelicin antara butiran-butiran pasir. Dalam kajian ini saiz butiran pasir yang digunakan adalah grit 30. Pasir, barite dan alumina kalsium dicampurkan secara kering dengan

JADUAL 2  
Kandungan model batuan buatan mengikut pecahan

Bahan-Bahan	Pecahan
Pasir Silika	8
Barite	3
Alumina Kalsium	1
Plaster of Paris	1.26
Air	3

menggunakan mesin campuran mekanikal Hobart model A120 selama lima minit. Air dicampurkan dan penggaulan diteruskan selama lima minit lagi. Kemudian *plaster of Paris* dicampur dan digaulkan selama 2 minit. Akhirnya campuran dikeluarkan dan dituangkan ke dalam tiub selinder yang bersaiz 75mm garis pusat dan 150mm panjang. Ia dibiarkan selama empat minit sebelum dikeluarkan daripada tiub. Selepas empat minit, spesimen dikeluarkan dan dikeringkan pada suhu bilik.

Batuan buatan ini mempunyai warna keputihan seperti batu pasir dan mengikut Papalianggas (1986) ketumpatan spesimen ini adalah 1.85 g/cm<sup>3</sup>. Kekuatan spesimen ini bergantung kepada ikatan lemah oleh bahan asli yang bertindak sebagai simen antara butiran-butiran pasir tersebut.

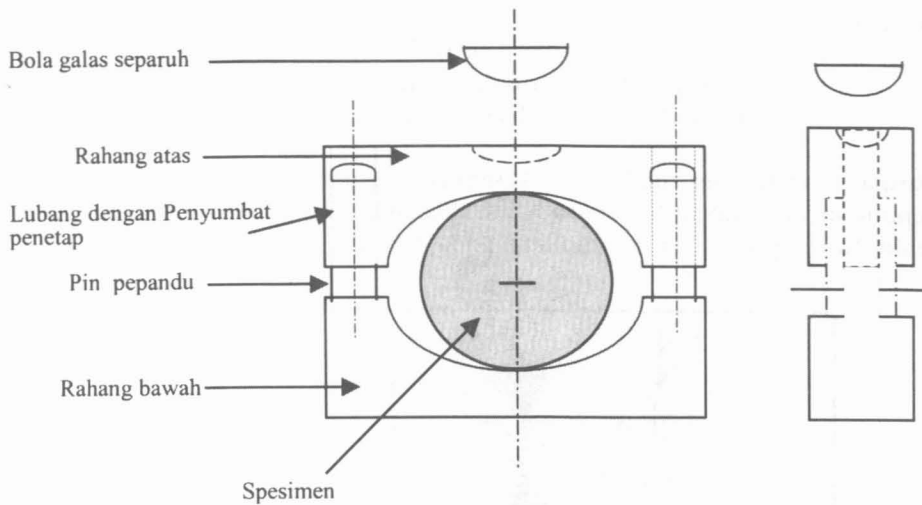
Untuk ujian H-Ometer, spesimen-spesimen ini ditebuk lubang dengan menggunakan mesin penebuk elektrik dengan mata penebuk bergaris pusat 10mm. Mata penebuk ini diperbuat daripada tungsten. Garis pusat lubang yang ditebuk pada spesimen berubah-ubah antara 10.2mm hingga 12mm. Ini disebabkan oleh ikatan pasir adalah ikatan rapuh yang mudah tanggal semasa proses penggerudian dilakukan. Semasa penggerudian dilakukan, keadaan yang berhati-hati perlu dititikberatkan. Dicapai kelajuan mesin gerudi adalah pada peringkat yang perlahan sesuai dengan keadaan spesimen.

Bagi ujian Brazilian, spesimen yang disediakan adalah sama dengan ujian H-Ometer. Selepas dikeringkan pada suhu bilik mengikut jangka masa sama dengan ujian H-Ometer, spesimen ini dipotong berbentuk selinder atau cakera dengan ketebalan separuh daripada garis pusat spesimen. Permukaan spesimen dilicinkan mengguna kepingan metal.

Sebanyak 30 spesimen telah disediakan iaitu 15 spesimen untuk setiap ujian. Tetapi didapati sejumlah 22 spesimen sahaja yang telah menepati piawaian bagi kedua-dua ujian. Sebanyak lapan spesimen lagi didapati rosak iaitu pecah sebelum ujian. Bagi tujuan kajian ini, keputusan ke atas 22 spesimen ini dibincangkan.

### UJIAN BRAZILIAN

Ujian Brazilian merupakan kaedah tak langsung dalam menentukan kekuatan tegangan batuan di dalam makmal. Ujian pecahan ini dijalankan pada spesimen berbentuk selinder atau juga dipanggil cakera. Aparatus untuk ujian Brazilian ditunjukkan pada *Rajah 1* (ISRM 1981).



Rajah 1: Aparatus bagi ujian Brazilian (ISRM 1981)

#### Prosedur Ujian

Spesimen untuk ujian dipotong kepada bentuk selinder dengan ketebalannya adalah separuh daripada nilai ukuran garis pusat. Permukaan spesimen hendaklah bebas daripada sebarang tanda atau kesan seperti garisan semasa pemotongan dan jika ada ketidaksamaan pada permukaan, ia hendaklah tidak melebihi 0.025mm, dan kedua-dua belah permukaan hendaklah rata (ISRM 1981).

Pada ujian Brazilian, ketebalan ( $t$ ) dan garis pusat ( $d$ ) selinder spesimen diletakkan secara mendatar antara dua kepingan beban pada mesin ujian. Kemudian tekanan diberikan pada kedua-dua kepingan yang berlawanan arah sehingga spesimen ujian akan pecah dua mengikut satah diametrik tegak.

Pada kajian ini, spesimen yang disediakan adalah bergaris pusat 75mm dan ketebalannya adalah separuh daripada garis pusat iaitu 37.5mm. Spesimen berbentuk selinder ini disediakan dengan memotong batuan buatan menggunakan mesin gergaji bermata berlian dan air bersih digunakan sebagai pelincir semasa proses pemotongan. Permukaannya diratakan mengguna kepingan metal. Selepas mengambil bacaan ukuran ketebalan dan garis pusat spesimen, ujian dilakukan dengan menggunakan Mesin Ujian Universal 5 Ton. Mesin ini dilengkapi perekod carta untuk merekodkan bacaan tekanan pada kegagalan. Tekanan yang diberi adalah pada kadar yang tetap.

#### Keputusan Ujian Brazilian

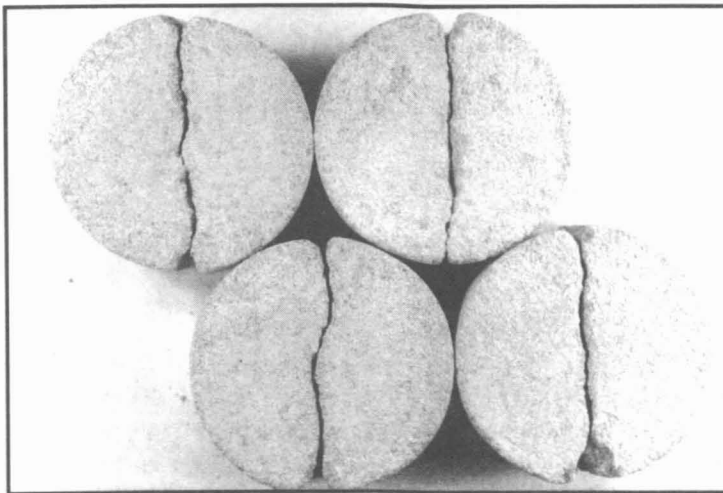
Kekuatan tegangan daripada ujian Brazilian diberikan oleh formula berikut:

$$\sigma_{t,B} = \frac{2P(1000)}{\pi d t} \text{ MPa} \quad (1)$$

dengan,

- P = tekanan yang diberikan pada kegagalan dalam kN
- d = garis pusat cakera dalam mm
- t = ketebalan cakera dalam mm

Daripada ujian yang dijalankan, kesemua spesimen yang diuji memberikan keputusan yang sangat baik iaitu boleh dikatakan kegagalan hampir sempurna sehingga sempurna. Ini ditunjukkan pada *Plat 2*.



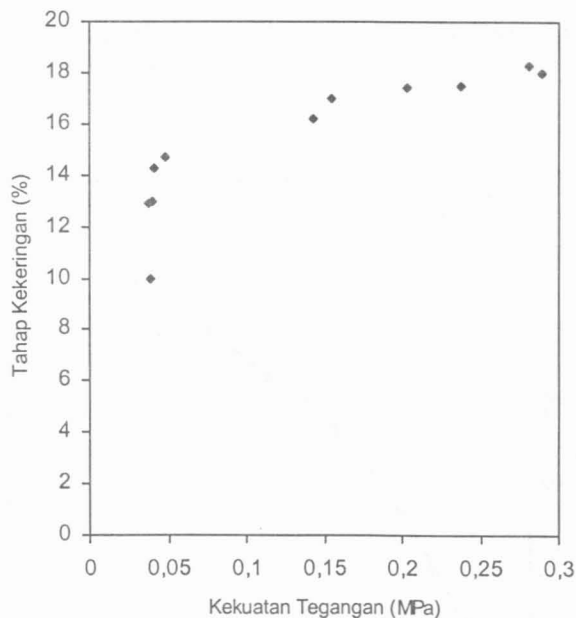
*Plat 2: Kegagalan yang ditunjukkan oleh spesimen bagi ujian Brazilian*

Keputusan ujian Brazilian ditunjukkan pada Jadual 3. Mengikut Bandis (1980), kekuatan tegangan daripada ujian Brazilian ke atas batuan buatan menggunakan model campuran Bandis adalah di antara 0.127 ke 0.473 MPa bergantung kepada kadar pengeringan spesimen. Daripada Jadual 3, kekuatan tegangan batuan buatan yang dikeringkan pada suhu bilik adalah antara 0.038 hingga 0.289 MPa. Nilai ini didapati rendah berbanding nilai yang diberikan oleh Bandis (1980). Ini adalah disebabkan spesimen dikeringkan pada suhu bilik dan diuji pada tahap kekeringan yang rendah berbanding Bandis (1980) yang ujian dilakukan setelah spesimen dikeringkan pada suhu bilik selama 24 jam dan dimasukkan ke dalam ketuhar pada suhu 85°C selama 36 jam lagi.

Keputusan kekuatan tegangan ini dibandingkan dengan nilai tahap kekeringan spesimen dan ditunjukkan pada *Rajah 2*. Hasil keputusan mendapati peratusan kekeringan bertambah, nilai kekuatan tegangan juga bertambah. Ini kerana spesimen lebih kering mempunyai ikatan antara butiran lebih kuat dan memberikan nilai kekuatan tegangan lebih tinggi.

JADUAL 3  
Kekuatan tegangan daripada ujian Brazilian

Tahap kekeringan (%)	Kekuatan Tegangan (MPa)
10.0	0.039
12.9	0.038
13.0	0.040
14.3	0.041
14.7	0.048
16.2	0.144
17.0	0.155
17.4	0.203
17.5	0.238
18.0	0.289
18.3	0.281



Rajah 2: Peratusan kekeringan melawan kekuatan tegangan dan ujian Brazilian

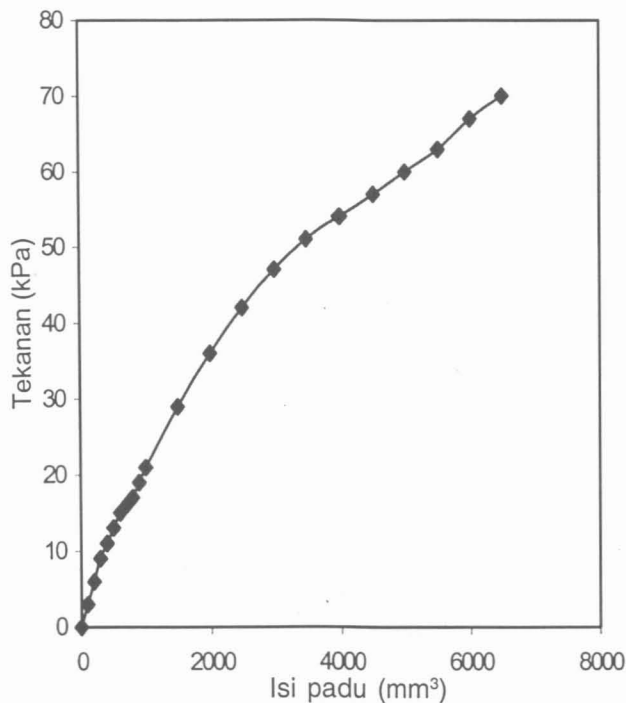
### UJIAN H-OMETER

Sebelum ujian H-Ometer dijalankan, kalibrasi atau penentuan perlulah dilakukan terlebih dahulu. Ada dua jenis penentuan yang perlu dilakukan iaitu penentuan membran dan penentuan sistem.

### Penentukuran

Penentukuran adalah sangat penting dilakukan pada ujian H-Ometer. Ini adalah kerana graf lengkok tekanan-isi padu daripada ujian perlu diperbetulkan supaya keputusan kekuatan tegangan yang didapati daripada ujian H-Ometer adalah kekuatan yang sebenar. Mair dan Wood (1987) menerangkan walaupun kecil nilai perubahan daripada pembetulan yang dilakukan ke atas keputusan ujian akan memberikan kesan yang besar ke atas nilai moduli yang didapati daripada ujian yang dijalankan pada tanah keras dan batuan lemah.

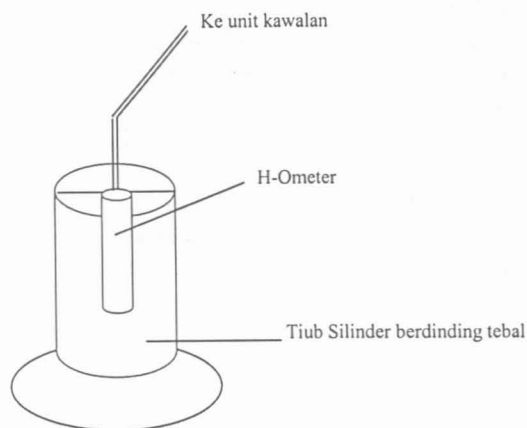
Oleh itu untuk H-Ometer, penentukuran membran dilakukan dengan mengembangkan membran di udara dengan memberikan isi padu air yang memasuki H-Ometer secara tetap (katakan  $100\text{mm}^3$ ) dan tekanan direkodkan. Ini penting dilakukan dalam proses membetulkan nilai bacaan yang didapati daripada ujian dan ia juga dipanggil sebagai pembetulan membran. Semasa penentukuran dijalankan, H-Ometer diletakkan secara menegak supaya sama seperti ianya diletakkan ke dalam sampel semasa ujian dijalankan. Bagi bacaan yang diambil, Clarke (1995) mengesyorkan supaya ianya dibaca setelah dibiarkan selama satu minit pada isi padu yang diberi sebelum isi padu ditambahkan. *Rajah 3* menunjukkan graf lengkok penentukuran membran daripada H-Ometer.



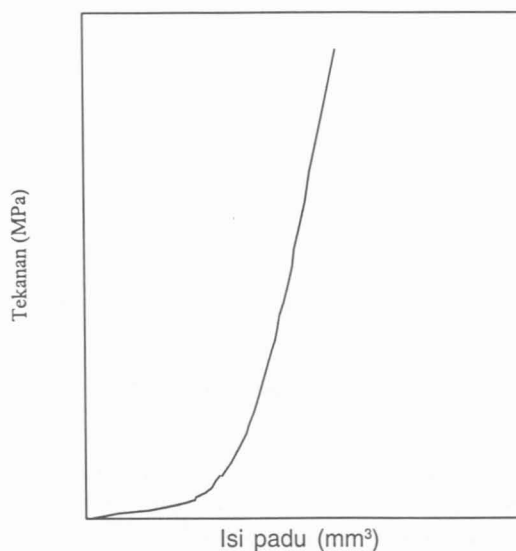
*Rajah 3: Graf lengkok penentukuran membran daripada H-Ometer*



Penentuan sistem dilakukan dengan memasukkan H-Ometer ke dalam tiub selinder berdinding tebal seperti pada *Rajah 4*. Tekanan diberikan kepada H-Ometer, yang akan mengembangkan membran lalu menolak kepada dinding tebal tiub selinder sehingga mencapai tahap tekanan maksimum. Setiap tekanan yang diberi akan dibiarkan selama satu minit sebelum bacaan direkodkan. Penentuan ini penting dilakukan bagi memastikan sistem H-Ometer bebas daripada kebocoran. *Rajah 5* menunjukkan graf lengkung penentuan sistem.



*Rajah 4: H-Ometer dimasukkan ke dalam tiub silinder berdinding tebal sebagai penentuan sistem*



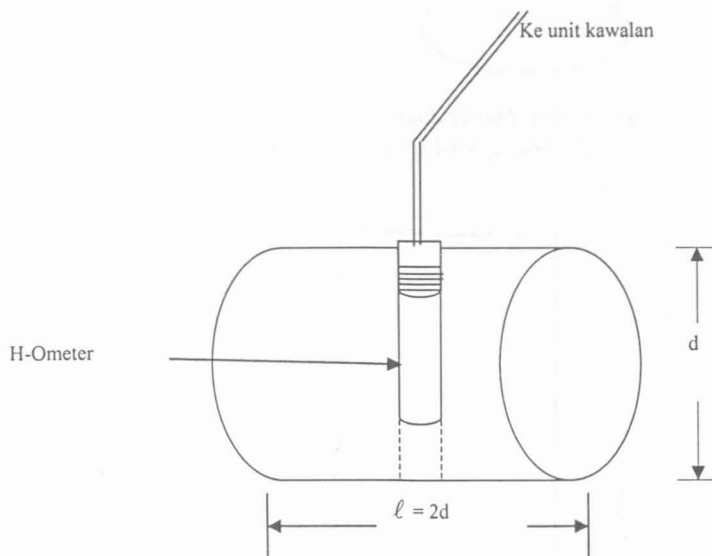
*Rajah 5: Graf lengkung penentuan sistem*

Sebagai peraturan am, ujian penentukuran perlu dilakukan setiap kali sebelum ujian dijalankan.

#### *Prosedur Ujian*

H-Ometer merupakan ujian tegasan terkawal kerana kenaikan tekanan yang dikenakan adalah dengan kadar yang telah ditetapkan. Kadar kenaikan tekanan yang dikenakan dianggarkan sehingga kegagalan pada spesimen berlaku ataupun sehingga had tekanan, bergantung kepada kekuatan bahan yang diuji.

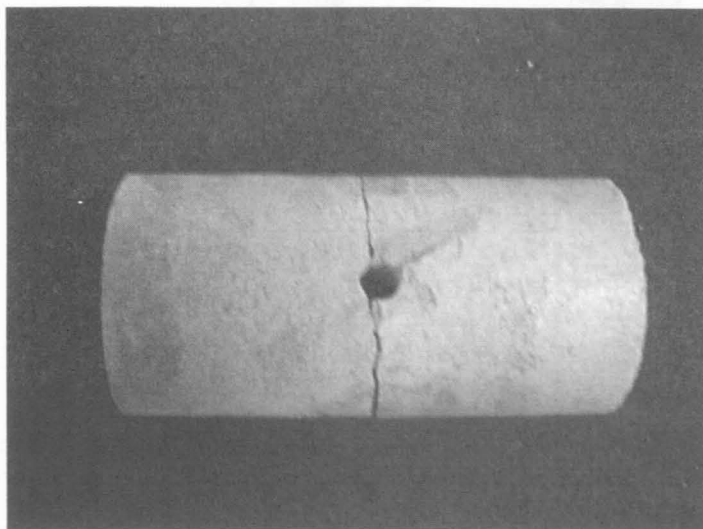
Pada prinsipnya, H-Ometer dimasukkan pada lubang yang telah ditebuk pada spesimen ujian (batuan buatan) untuk ujian dijalankan (*Rajah 6*). Lubang ujian pada batuan buatan ditebuk menggunakan mesin gerudi elektrik secara tegak dengan mata gerudi tungsten bergaris pusat 10mm digunakan. Biasanya susah untuk mendapatkan lubang yang ditebuk tadi betul-betul sesuai ataupun padat dengan H-Ometer. Ini disebabkan oleh batuan lemah merupakan bahan rapuh yang mudah pecah. Penggerudian dilakukan dengan berhati-hati supaya sampel tidak mengalami sebarang pecahan sebelum ujian dijalankan. Dalam kajian ini, batuan buatan yang digunakan adalah bersaiz 150mm panjang dan 75mm garis pusat dan berbentuk selinder.



*Rajah 6: Ilustrasi ujian H-Ometer*

H-Ometer disambungkan kepada unit kawalan iaitu pam digital menggunakan tiub, yang tekanan dikenakan dan perubahan isi padu dalam mm<sup>3</sup> direkodkan. Perubahan isi padu direkodkan pada setiap 30 saat dan 60 saat bagi setiap kali tekanan dikenakan. Pada permulaan ujian, pertambahan tekanan pada kadar 25 kPa ditetapkan sehingga tekanan mencapai 100 kPa.

Selepas 100 kPa, pertambahan tekanan dinaikkan antara 50 hingga 100 kPa bergantung kepada kesesuaian sehingga spesimen gagal sepenuhnya. Kegagalan berlaku dengan tiba-tiba dan tanpa amaran. Oleh itu, sangatlah penting untuk memerhatikan kadar perubahan isi padu semasa ujian dijalankan dengan teliti. Pertambahan tekanan sebanyak 50 hingga 100 kPa dicadangkan bagi menjaga keselamatan semasa ujian dan juga bagi mendapatkan keputusan yang baik. *Plat 3* menunjukkan spesimen gagal selepas ujian H-Ometer.



*Plat 3: Spesimen (batuan buatan) pecah kepada dua selepas ujian H-Ometer*

#### *Keputusan Ujian H-Ometer*

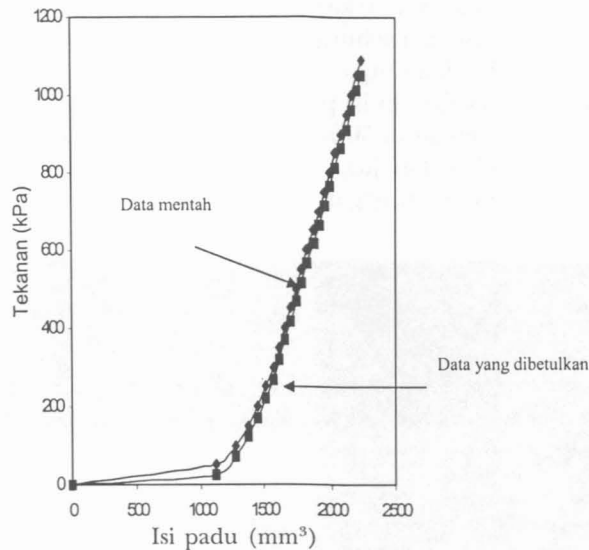
Keputusan yang didapati daripada ujian H-Ometer tidak berguna jika tidak diperbetulkan. Oleh itu, keputusan ujian atau data mentah perlu dibetulkan bagi mendapatkan tekanan sebenar. Tekanan sebenar dikira menggunakan formula berikut:

$$P_{\text{corr}} = P_a - P_{\text{cal}} \quad (2)$$

iaitu,

$P_{\text{corr}}$	adalah tekanan sebenar
$P_a$	adalah tekanan yang dikenakan semasa ujian
$P_{\text{cal}}$	adalah tekanan penentukuran daripada graf lengkok penentukuran membran

Tekanan sebenar yang didapati setelah pembetulan dibuat seterusnya digunakan untuk menghasilkan graf tekanan melawan isi padu (*Rajah 7*). Daripada graf ini, tekanan sebenar pada kegagalan,  $P_p$  dan tekanan awal semasa membran



Rajah 7: Graf lengkung tekanan-isi padu dari ujian H-Ometer

menyentuh dinding pada spesimen ujian,  $P_o$ , akan diperolehi dan ini akan digunakan untuk mengira kekuatan tegangan. Kekuatan tegangan boleh dikira menggunakan formula berikut:

$$\sigma_{t, HO} = P_f - 4 P_o \quad (3)$$

iaitu,

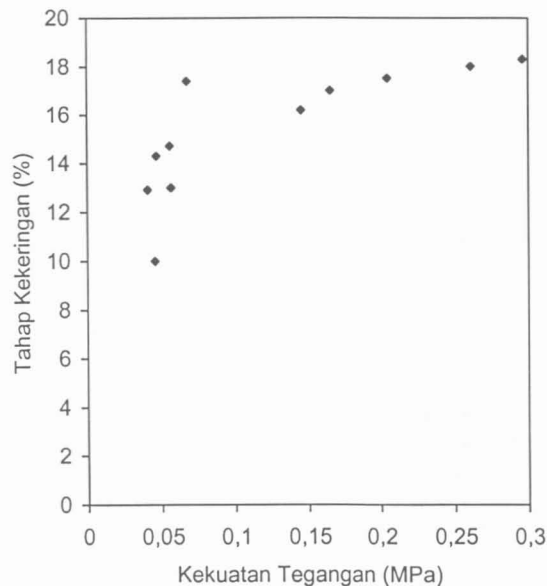
- $\sigma_{t, HO}$  adalah kekuatan tegangan dari ujian H-Ometer
- $P_f$  adalah tekanan pada kegagalan
- $P_o$  adalah tekanan awal

Keputusan kekuatan tegangan spesimen yang diuji ditunjukkan pada Jadual 4. Tekanan pada kegagalan,  $P_f$ , dan tekanan awal,  $P_o$ , adalah dua nilai yang sangat penting untuk mendapatkan nilai kekuatan tegangan menggunakan ujian H-Ometer. Tekanan awal ditentukan dari graf keputusan ujian. Daripada keputusan kekuatan tegangan yang diperolehi, satu kaitan di antara tahap kekeringan spesimen dan nilai kekuatan tegangan dibentuk. Ini ditunjukkan pada *Rajah 8*. Hasil keputusan menunjukkan peratusan kekeringan bertambah, nilai kekuatan tegangan juga bertambah.

Keputusan nilai kekuatan tegangan dari ujian H-Ometer didapati sedikit besar berbanding nilai kekuatan tegangan yang diberikan oleh Bandis (1980). Ini adalah kerana tahap pengeringan yang berbeza berbanding spesimen yang disediakan oleh Bandis (1980).

JADUAL 4  
Kekuatan tegangan daripada ujian H-Ometer

Tahap Kekeringan (%)	Kekuatan Tegangan (MPa)
10.0	0.046
12.9	0.041
13.0	0.057
14.3	0.047
14.7	0.056
16.2	0.146
17.0	0.166
17.4	0.208
17.5	0.245
18.0	0.299
18.3	0.296



Rajah 8: Peratusan kekeringan melawan kekuatan tegangan dari ujian H-Ometer

#### PERBANDINGAN KEKUATAN TEGANGAN DARIPADA UJIAN H-OMETER DAN UJIAN BRAZILIAN

Adalah menjadi kebiasaan untuk membandingkan keputusan yang didapati dari ujian alatan baru dengan keputusan dari alat ujian yang sedia ada, sama ada ujian dijalankan di lapangan ataupun di makmal. Daripada perbandingan satu kaitan baru biasanya dapat dibentuk dan perbandingan juga dapat memastikan sama ada alatan baru sesuai digunakan ataupun tidak.

Daripada kajian ini, perbandingan dilakukan dengan ujian Brazilian. Mengikut Clarke (1995), tiada sebab mengapa keputusan dari alat meter tekanan semestinya sama dengan ujian lain yang dilakukan. Banyak perbandingan daripada ujian-ujian yang telah dijalankan dalam bidang geoteknik seperti diberikan oleh Briaud (1986) dan Wilson dan Corke (1990). Biasanya didapati sangat sedikit keputusan perbandingan memberikan keputusan yang sama tetapi perbandingan boleh menilai sesuatu keputusan itu sama ada berkualiti ataupun tidak.

Keputusan kedua-dua ujian yang dijalankan diringkaskan dan ditunjukkan pada Jadual 5 di bawah. Kedua-dua ujian telah dilakukan ke atas spesimen yang dikeringkan pada tahap yang dikehendaki dan diuji pada masa yang sama. Keputusan daripada ujian H-Ometer memberikan nilai yang lebih tinggi berbanding nilai daripada ujian Brazilian. Walaupun ada sedikit perbezaan, keputusan adalah sangat baik.

JADUAL 5

Perbandingan kekuatan tegangan dari ujian H-Ometer dan ujian Brazilian

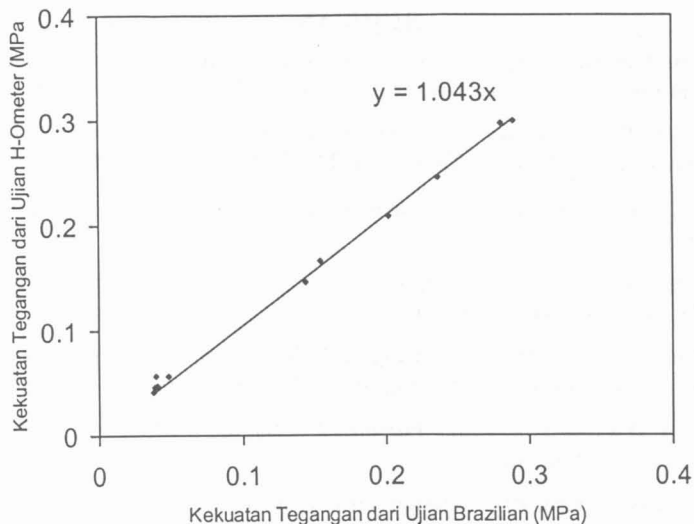
Kekuatan Tegangan	
Ujian H-Ometer $\sigma_{ho}$ (MPa)	Ujian Brazilian $\sigma_b$ (MPa)
0.046	0.039
0.041	0.038
0.057	0.040
0.047	0.041
0.056	0.048
0.146	0.144
0.166	0.155
0.208	0.203
0.245	0.238
0.299	0.289
0.296	0.281

Daripada keputusan, graf kekuatan tegangan daripada ujian H-Ometer melawan kekuatan tegangan daripada ujian Brazilian telah dibentuk dan ini ditunjukkan pada *Rajah 9*. Graf menunjukkan satu kaitan lurus yang jelas di antara nilai daripada ujian H-Ometer dan ujian Brazilian. Hasil perbandingan ini, satu kaitan dicadangkan adalah seperti berikut:

$$\sigma_{t, HO} = 1.043 \sigma_{t, B} \quad (4)$$

dengan,

$\sigma_{t, HO}$  adalah kekuatan tegangan daripada ujian H-Ometer  
 $\sigma_{t, B}$  adalah kekuatan tegangan daripada ujian Brazilian



Rajah 9: Kekuatan tegangan dari ujian H-Ometer melawan kekuatan tegangan dari ujian Brazilian

Daripada keputusan di atas, jelaslah bahawa ujian H-Ometer dapat digunakan untuk mendapatkan nilai kekuatan tegangan ke atas batuan lemah. Walaupun perbandingan di atas adalah secara ghalib, keputusan yang didapati menunjukkan ujian H-Ometer adalah berkait rapat dengan ujian Brazilian.

### KESIMPULAN

Dari hasil keputusan dan perbincangan di atas, jelaslah bahawa satu perbandingan yang baik antara ujian H-Ometer dengan ujian Brazilian. Walaupun perbandingan yang dijalankan adalah secara ghalib antara kedua-dua ujian, keputusan yang didapati menunjukkan persetujuan yang amat baik antara kedua-dua ujian. Oleh itu ujian H-Ometer sesuai digunakan untuk mendapatkan nilai kekuatan tegangan pada batuan lemah. Nilai kekuatan tegangan daripada ujian H-Ometer bergantung kepada keadaan spesimen atau batuan lemah yang diuji. Pada kajian ini, batuan lemah buatan telah digunakan kerana ia memberikan spesimen yang diuji berada dalam keadaan yang isotropik dan homogen, jadi ia tidak mengandungi apa-apa ketakselajaran dan ini menunjukkan spesimen mempunyai ciri-ciri yang elastik. Hal ini penting untuk mendapatkan keputusan yang seragam yang akhirnya dapat digunakan untuk proses perbandingan antara kedua-dua ujian.

### PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan ucapan terima kasih kepada Kementerian Sains, Teknologi dan Alam Sekitar kerana membiayai projek penyelidikan ini di bawah geran IRPA (vot: 03-02-04-0083).

### RUJUKAN

- BANDIS, S. 1980. Experimental studies of scale effects on shear strength and deformation of rock joints. Ph.D. Thesis, University of Leeds, U.K.
- BRIAUD, J.L. 1986. Pressuremeter and deep foundation design. In *Proc. 2nd. Int'l Symp. on Pressuremeter Marine Appl.*, p. 376-405. ASTM STP 950, Texam, USA.
- CLARKE, B.G. 1995. *Pressuremeters in Geotechnical Design*. Glasgow: Blackie Academic and Professional.
- DAVIES, J.D. dan K.G. STAGG. 1970. Splitting tests on rock specimens. In *Proc. of 2nd. Congr. ISRM*, p. 343-349. Beograd.
- ISRM. 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring. *ISRM Suggested Methods* ed. E.T. Brown. Commission on Testing Methods. Pergamon.
- MAIR, R.J. dan D.M. WOOD. 1987. *Pressuremeter Testing – Methods and Interpretation*. Butterworth, London: Butterworth.
- MEIGH, A.C. dan W. WOLSKI. 1979. Design parameters for weak rocks. In *Proc. of 7th. Eur. Conf. SMFE*, Brighton. 5: 59-79.
- PAPALIANGAS, T. 1980. The effect of frictional filling materials on shear behaviour of rock discontinuities. M.Sc. Thesis, University of Leeds, U.K.
- WILSON, W. dan D.J. CORKE. 1990. A comparison of modulus values of sandstone derived from high pressure dilatometer, plate bearing, geophysical and laboratory testing. In *Proc. of 3rd. Int'l Symp. on Pressuremeter*, p. 351-360. Oxford.